

Determinación de metodología óptima
para la
**biomonitorización de metales
pesados**
en sedimentos y biota del
río Lempa

José Enrique Barraza Sandoval

El Salvador, septiembre 2000
PROARCA/CAPAS

Acerca de esta publicación

Esta publicación y el trabajo descrito en ella fueron financiados por la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) a través de PROARCA/CAPAS, como apoyo a la agenda de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), en el contexto de CONCAUSA, la declaración Conjunta entre Centroamérica y Estados Unidos (Miami, octubre de 1994) sobre la conservación del ambiente en Centroamérica.

Las opiniones e ideas presentadas aquí no son necesariamente respaldadas por USAID, PROARCA/CAPAS, o CCAD, ni representan sus políticas oficiales.

About this publication

This publication and the work described in it were funded by the U.S. Agency for International Development (USAID) through PROARCA/CAPAS, as support to the agenda of the Central American Commission on Environment and Development (CCAD), in the context of CONCAUSA, the Joint Central America - USA declaration (Miami, October 1994) on conservation of the environment in Central America.

The views and ideas presented here are not necessarily endorsed by USAID, PROARCA/CAPAS, or CCAD, nor do they represent USAID's official policies.

Determinación de metodología óptima para la biomonitorización de metales pesados en sedimentos y biota del río Lempa

José Enrique Barraza Sandoval

El Salvador

Tel. (503) 260 3114

E-mail: enriquebarr@ejje.com

patrimonio@marn.gob.sv

1. PRESENTACIÓN

El río Lempa abarca 18,240 km² entre Guatemala, Honduras y El Salvador, en éste último la superficie de la cuenca incluye 10255 km². Se trata del río más largo de la vertiente del Pacífico de Centroamérica, y muy importante para El Salvador como fuente de pesca, regadíos, generación de energía eléctrica, agua potable, principalmente. FUSADES (2000) realizó un estudio que se concentró en detectar la presencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal, pesticidas y metales en diferentes zonas de la cuenca del río Lempa.

La determinación de metales en los diferentes ecosistemas acuáticos de El Salvador ha merecido la atención de pocas investigaciones científicas (RPI, 1994; Barraza, 1998; FUSADES, 2000). Aunque, existen otras investigaciones cuyo acceso es restringido.

Mediante el presente trabajo se pretende establecer niveles de metales pesados en sedimentos y biota propia del río Lempa, en las diferentes estaciones del año. Para ello se realizaron extracciones ácidas fuertes (ácido nítrico concentrado, fracción total) para sedimentos y material vegetal, así como extracciones débiles (ácido clorhídrico, fracción biolábil) de los sedimentos.

La finalidad de utilizar sedimentos y biota, se basa en que los primeros reflejan de una forma más estable los niveles de metales de este ecosistema sin alterarse por la descarga eventual de un contaminante en el agua, y la segunda, identificar un biomonitor de metales adecuado para futuros estudios en el río Lempa. También se trató de identificar la penetración de metales en la cadena alimenticia de este ecosistema fluvial, al determinar la fracción biolábil de los metales en los sedimentos, así como los niveles de metales en las raíces del jacinto de agua (*Eichornia crassipes*).

Este análisis preliminar indica que el cobre es el elemento de mayor riesgo ecológico en la zona del bajo Lempa debido a su alta biodisponibilidad, reflejado por los elevados niveles de la fracción biolábil de los sedimentos. También se confirma la utilidad de las raíces de *Eichornia crassipes* para reflejar presencia de cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni) y plomo (Pb) en este ecosistema fluvial. La bioconcentración de arsénico (As) por parte de las raíces de *E. crassipes* requiere mayor investigación.

Por otra parte los niveles de metales desde la Presa 15 de septiembre hasta la bocana del río, no siempre descienden como se esperaba. Esto es evidente durante los diferentes períodos de muestreo o al menos la mayoría de los mismos, para cadmio, cobre y níquel, en sus diferentes especies químicas (sedimento o biota). Es probable que existan otras fuentes de enriquecimiento para los metales en estudio en el recorrido del río hacia la bocana.

Mediante este trabajo se ha logrado, tanto determinar lineamientos sobre la metodología óptima para la biomonitorización de metales pesados en sedimentos y biota del Río Lempa, lo cual era el objetivo propuesto, como determinar en sí las condiciones de éste desde esa perspectiva.

Dicha metodología se caracteriza, en síntesis, por:

- Determinación de la fracción metálica de los sedimentos que fácilmente puede ser incorporada por las cadenas alimenticias, causando un riesgo ecológico real.
- Utilización de organismos vivos del lugar donde se quiere medir contaminación para determinar concentraciones de compuestos o elementos presentes en el lugar. En este caso se utilizaron las raíces de *Eichornia crassipes* (jacinto de agua), como bioindicadores de metales en **el agua y materia suspendida** del río Lempa.
- En el caso de bioindicadores de contaminantes de sedimentos, deben ser organismos que habiten en los sedimentos la mayor parte del tiempo.
- Los organismos a ser utilizados deben ser abundantes y estar presentes durante todo el año en el área de estudio. Los métodos de captura deben ser sencillos.
- Esta metodología también debe incluir ensayos de bioacumulación en condiciones de laboratorio.
- La ubicación de las estaciones de muestreo se indican en la figura 1.

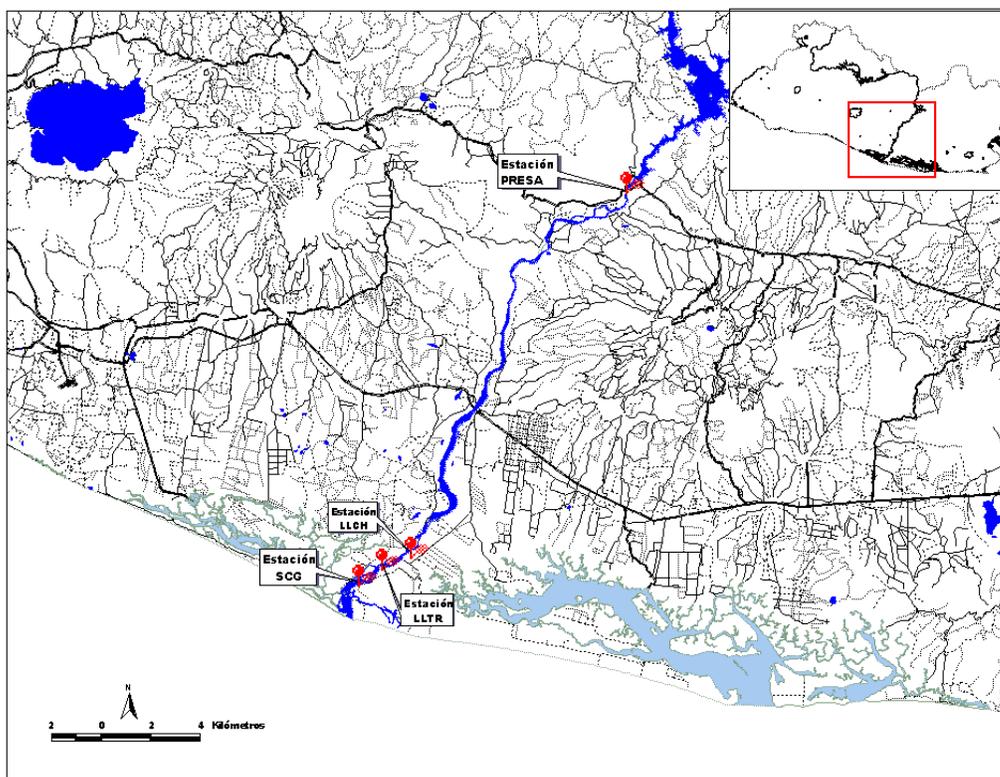


Fig. 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en el río Lempa. PRESA: Presa 15 de septiembre, LLCH: La lechuguera, LLTR: La Letrina, SCG: La Sincagüitera.

Así mismo, aunque no era el objetivo primordial de este trabajo, se ha establecido la condición del Río Lempa en cuanto a metales pesados en sedimentos y biota, lo cual se caracteriza de la siguiente manera:

- La fracción biolábil de cobre es alta en comparación a los otros metales, lo cual indica que el cobre en los sedimentos de la zona de estudio presenta fuertes indicios de riesgo ecológico.
- La fracción biolábil de arsénico, cadmio, cromo, níquel y plomo no se detectó en niveles elevados que indiquen riesgo ecológico.
- Dos metales (cobre y níquel) reflejan mayores concentraciones en la presa en comparación con las otras estaciones al sur. Esto permite asumir el papel de la presa como filtro de estos metales que quedan atrapados en el sedimento como destino primordial de los elementos en estudio.
- El jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) presentó capacidad para bioconcentrar en sus raíces cadmio, cobre, cromo, níquel y plomo. Esto indica la posibilidad de utilizar esta especie como parte de un programa de biomonitoreo de metales en el río Lempa.
- Existió dificultad para determinar un representante de fauna abundante y presente a lo largo de la zona de estudio, para que fuera considerado como biomonitor de metales en el río Lempa.

Dicha situación significa que....

- Con base a los resultados obtenidos en los análisis de sedimentos del río Lempa en su trayecto la planicie costera del país, puede considerarse que el cobre es el elemento que presenta mayor riesgo ecológico.
- Las causas de este fenómeno pueden ser varias: contaminación por agroquímicos de cultivos aledaños; depósitos de sedimentos contaminados a causa de un fenómeno natural reciente, como el huracán "Mitch"; fuente natural de contaminación cercana a la zona; contaminación por aguas residuales urbanas provenientes de afluentes al Lempa.
- La implicación más relevante de los resultados obtenidos es la posibilidad que este elemento penetre fácilmente a organismos asociados al fondo del río y que se utilicen como alimento, tanto para la vida silvestre, como para las poblaciones humanas que se alimentan de éstos.
- Para determinar soluciones a esta situación será necesario realizar estudios de donde proviene el cobre, así como determinar los niveles de cobre en la fauna procedente del río que se utiliza como alimento. Una vez se determine la causa, deberá establecerse un mecanismo normativo, si ésta llega a ser originada por actividades humanas.
- Otros metales de alta toxicidad, tales como mercurio y zinc requieren estudios similares.

El autor posee Licenciatura en Biología de la Universidad de El Salvador, Maestría en Ciencias de la Universidad Texas A&M y Doctorado en Biología de la Universidad de Santiago de Compostela (España), actualmente trabaja en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, se dedica a la evaluación ambiental en general, así como a la investigación científica de biodiversidad marina y el impacto de las actividades humanas sobre ésta.

Ha publicado en documentos nacionales como internacionales estudios sobre ecología de esteros, playas de arena y habitat rocosos de la zona costera de El Salvador y Texas, USA.

También, estudios sobre el efecto de contaminantes (metales e hidrocarburos) en fauna y flora marina, así como el uso de bioindicadores y bioacumuladores en El Salvador y España. Sus aspiraciones futuras incluyen dedicar mayor tiempo a estudios orientados hacia inventarios y ecología de la biodiversidad marina de El Salvador, así como el uso de bioindicadores para el monitoreo de contaminantes en ecosistemas acuáticos del país. También, pretende proponer una política de investigación científica en El Salvador.

2. CONTEXTO

El Salvador cuenta con once cuencas hidrográficas principales, siendo la del río Lempa la más importante para El Salvador. Este río se origina en las zonas montañosas de Guatemala y Honduras y su cuenca abarca el 47.6% del territorio nacional, convirtiéndose en el río de mayor recorrido en El Salvador (294 km). Este río es importante para la producción de energía hidroeléctrica, agua potable, regadíos, alimentos derivados de la pesca, principalmente.

Este río alcanza una altura de 700 metros cerca de la frontera con Honduras conocida como El Poy, uniéndose con el océano Pacífico entre los departamentos de San Vicente y Usulután. Al atravesar el centro del país, el caudal es mucho mayor debido a la confluencia de varios afluentes, y durante épocas de precipitación pluvial intensa ocurren inundaciones severas que dañan cultivos agrícolas y asentamientos humanos. Este fenómeno fue muy evidente durante la tormenta tropical “Mitch” en noviembre de 1998.

Debido a la utilización de este río para generación de energía eléctrica, varios estudios hidrológicos y geoquímicos se han realizado en las últimas cuatro décadas. Aunque todos se orientaron a determinar los potenciales hidroeléctricos y parámetros asociados. FUSADES (2000), completó un estudio de la presencia de metales, agroquímicos y bacterias indicadoras de material fecal. Se determinó la ocurrencia de metales, incluyendo mercurio, en muestras de agua de diferentes zonas y afluentes del río Lempa.

En el río Lempa existen 3 presas hidroeléctricas, las cuales son responsables del 41.8% de generación energética del país: 398 MW. Existen al menos 3 sistemas importantes de irrigación agrícola asociados a esta cuenca. También se han instalado 2 importantes plantas potabilizadoras de agua para corresponder a la demanda del área metropolitana de San Salvador, principalmente.

La pesca artesanal es una importante fuente de alimentación y generación de empleo, pero no existen datos sobre las estadísticas pesqueras del río. Las especies de mayor importancia pesquera son: “tilapia” (*Saroterodon* spp.), “mojarras y guapotes” (*Cichlasoma* spp.), “bagres” (*Arius* sp, *Bagre* sp., *Galeichthys* sp.), “bute” (*Gambusia* sp.) y “chimbolo” (*Poecilia* sp.). Otro recurso pequeño importante, aunque carece de estadísticas es el camarón dulceacuícola (*Macrobrachium* spp.) y el “caracol asiático” (*Pomacea* sp.).

En la zona costera del río Lempa la ictiofauna es más diversa debido a la cercanía del océano, por ello se han detectado peces estuarinos y marinos, tales como: lutjanidos, ariidos, esciaénidos, centropómidos, mugílidos, gerreidos, bótidos, góbidos, entre otros. La diversidad de invertebrados acuáticos también aumenta y aparecen diferentes especies de crustáceos, bivalvos y gasterópodos, muchos de ellos de importancia comercial.

La flora acuática está dominada por fanerógamas flotantes, tales como el “jacinto o ninfa de agua” (*Eichornia crassipes*), también existen otros grupos y especies: aráceas y heliconias de pantano, *Hydrilla* sp., entre otras. De éstas, la primera presenta una gran cobertura, principalmente en zonas donde no existe corriente. Por ello es muy común en el embalse “15 de septiembre”, así como en afluentes del Lempa en su recorrido por la planicie costera.

La mayoría de ecosistemas terrestres asociados a las riberas del río Lempa son vegetaciones secundarias modificadas por tala destinadas a la obtención de leña o cultivos agrícolas. Aunque mediante imágenes de satélite se pueden detectar masas boscosas en la zona fronteriza del departamento de Cabañas con Honduras. También existen importantes masas boscosas en la zona costera del Lempa, como el relicto más extenso de bosque de planicie costera “Nancuchiname”, cuya extensión abarca 1000 hectáreas, aproximadamente (Serrano, 1995).

Dentro de las angiospermas típicas de esta comunidad se encuentran: bromelias, leguminosas, gramíneas, aráceas, marantáceas, palmas, compuestas, entre otras. Dentro de la fauna típica de mamíferos se puede mencionar: mono araña (*Ateles geoffroyi*, único primate en el país y en peligro de extinción), micoleón (*Potos flavus*), cuzuco (*Dasyopus novemcinctus*), pezote (*Nasua narica*), venado (*Odocoileus virginianus*). También existe una gran variedad de avifauna, incluyendo muchos halconiformes y psitácidos; reptiles, abarcando muchos ofidios y lacertílicos; así como anfibios. Otras áreas extensiones boscosas propuestas como áreas protegidas con influencia con el área de este estudio son “El Tecomatal” (100 hectáreas), isla Tasajera (200 hectáreas).

En su recorrido próximo a la bocana, existen comunidades de manglares de diferentes edades, cuya propagación se limita debido a la gran cantidad de depósitos arenosos que ocurren. Esto es una evidencia muy clara de la alta sedimentación que ocurre en el río. Este fenómeno está asociado a la deforestación y uso inadecuado del suelo en la parte de la cuenca alta del río.

A continuación se detallarán algunos de los términos (Carballeira *et al.*, 1997) utilizados en este estudio:

Bioacumulación, en medio acuático se define como la suma de dos procesos: bioconcentración y biomagnificación. La primera, es la concentración resultante del proceso de equilibrio de carga y descarga de compuestos entre la biota y el medio circundante (agua o sedimento); el segundo, indica la concentración de un compuesto cuyo único mecanismo de ingreso es por alimentación.

Biolábil, parte del contenido total de un metal en sedimentos que es fácilmente asimilable en las cadenas alimenticias, es decir, que no se encuentra fuertemente asociado al sedimento.

Biomonitor, organismo utilizado para que refleje la calidad ambiental de un ecosistema. Permiten reconocer y cuantificar factores biológicos inducidos por la contaminación. Existen dos tipos: *sensitivos*, los cuales reflejan el estrés provocado por contaminantes acuáticos mediante la abundancia relativa, actividad enzimática, tasas metabólicas, entre otros; *acumuladores*, se utilizan para determinar la acumulación corporal de una sustancia química en estudio. La biomonitorización puede ser activa, cuando existe exposición controlada de organismos en condiciones de campo mediante trasplante o condiciones de laboratorio.

La biomonitorización es pasiva, cuando se colectan y analizan organismos propios del lugar, como en el presente estudio. Esta última incluye la ventaja, que los organismos reflejan los niveles de contaminantes a lo largo de extensos períodos de tiempo.

Fracción total, contenido total de metal en sedimentos, incluye la fracción biolábil así como la estados moleculares fuertemente asociados a la estructura de los sedimentos.

Ictiofauna, diversidad de peces de un lugar.

3. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es roponer metodologías actualizadas para la evaluación de los niveles de ciertos metales pesados en el río Lempa. Esto se ha pretendido lograr mediante los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la fracción total y biolábil de metales en sedimentos limosos de diferentes tramos del bajo Lempa, sus variaciones espaciales, así como temporales.
- Verificar la utilidad del jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) como biomonitor de de arsénico, cadmio, cobre, cromo, níquel y plomo del agua del río Lempa.
- Determinar las fracciones total y biolábil en sedimentos de arsénico, cadmio, cobre, cromo, níquel y plomo.
- Generar con una base de datos confiable sobre niveles de metales en el bajo Lempa, que permitan en un futuro comparar la aplicación de normas y reglamentos sobre vertidos.
- Contar con información actualizada para la planificación del uso sostenible de los recursos del río Lempa.

Indicadores de logro

Como indicadores del logro de los objetivos se ha planteado:

- Obtención de las fracciones totales y biolábiles de arsénico, cadmio, cobre, cromo, níquel y plomo, en sedimentos.
- Zonificación del área en estudio, mediante clasificación de alto y bajo riesgo ecológico en base a las concentraciones de los diferentes metales.
- Identificación de al menos dos biomonitores de calidad del agua y sedimentos del río Lempa.

4. RESULTADOS

El cobre presenta elevados niveles biodisponibles

En la tabla 1 se observan las concentraciones promedio (miligramos de metal por kg de sedimento) de los metales en estudio en la fracción total y biolábil de sedimentos durante los tres diferentes períodos de muestreo, así como en las raíces de *E. crassipes*.

Comparando las extracciones totales con las biolábiles, se puede observar que en la mayoría de los casos, éstas últimas son muy bajas, indicando poca biodisponibilidad de arsénico, cadmio, cromo, níquel y plomo en los sedimentos. Esto permite inferir que los sedimentos no presentan concentraciones de metales que impliquen riesgo ecológico alguno, con la excepción del cobre, cuya fracción biodisponible presenta niveles elevados en los cuatro lugares de muestreo, en comparación con la fracción total de cobre en sedimentos de las mismas zonas.

La situación descrita implica que organismos que habitan asociados a los sedimentos de esta zona del río Lempa, tales como bagres, caracoles, almejas (dulceacuícola como estuarina), pueden bioacumular o biomagnificar cobre. Bioensayos en el habitat natural, como en laboratorio serán necesarios para comprobar esta hipótesis. El níquel también presentó ciertos niveles biolábiles, pero la fracción es mucho menor en comparación con la total. Sin embargo, para descartar totalmente algún riesgo ecológico se requieren mayor número de muestras y análisis más profundos (factores de toxicidad sedimentológica o retención, por ejemplo).

Presa 15 de septiembre, ¿filtro del río Lempa?

También, se puede observar que tanto las fracciones totales como biolábiles de cobre en los sedimentos son mayores en la presa, y tienden a mantenerse más o menos estables en las estaciones ubicadas al sur (tabla 1).

Situación similar a la anterior ocurrió en el caso del níquel en sedimentos, cuya fracción tanto total como biolábil es mayor en la presa “15 de septiembre”, en comparación a los niveles más estables y menores del metal, detectados en las estaciones aguas abajo. Estos hallazgos, también permiten asumir que dentro los contaminantes metálicos más comunes que afectan al río Lempa se encuentran cobre y níquel.

Ante el caso de los dos metales mencionados, se puede asumir que el embalse de la Presa “15 de septiembre” actúa como un filtro de ambos metales, proceso en el cual los sedimentos participan en la captura de diferentes contaminantes.

Para el caso de las concentraciones de los otros metales en sedimentos, no existe una tendencia evidente que permita considerar que el embalse de la Presa “15 de septiembre” actúe como barrera filtradora. Sin embargo para confirmar ambas hipótesis será necesario realizar estudios más profundos.

Jacinto de agua como biomonitor de metales en el río Lempa

Se utilizaron las raíces, debido a que este es el principal órgano por donde penetran los nutrientes y demás sustancias a la planta. Además los tejidos de la raíz carecen de ceras presentes en las hojas, por lo que su procesamiento químico es menos complicado y genera menos interferencias. Cabe mencionar que durante los diferentes períodos de muestreo, no se pudo encontrar *E. crassipes* en la estación conocida como “La Sincaguitera”, caracterizada por presentar manglares e influencia de agua salada, condición no apta para la ocurrencia del “jacinto de agua” (tabla 1).

La ausencia de esta planta en la presa durante la estación seca es una limitante del estudio que no se esperaba y está asociada al manejo hidráulico de la misma. Esto se convierte en una limitante del estudio, ya que no se puede establecer con certeza si las colonias de *E. crassipes* donde se realizaron los muestreos son estáticas o dependen de la apertura de compuertas de la

presa. De ser así, también se tiene que determinar las cinéticas de carga y descarga de metales de las raíces del jacinto de agua.

ESTACION LLUVIOSA/1999	As	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb
SEDIMENTOS EXTRACCIÓN TOTAL						
PRESA	64.7	nd	43.3	1.2	38.1	12.1
LLCH	62.4	nd	34.5	3.4	36.6	7.4
LLTR	61.9	nd	31.4	2.7	30.5	6.8
SCG	33.4	nd	35.6	1.6	3.9	7.1
SEDIMENTOS EXTRACCIÓN BIOLÁBIL						
PRESA	0.1	nd	19.5	0.1	3.5	0.1
LLCH	0.1	nd	16.1	0.1	2.1	0.1
LLTR	0.1	nd	15.0	0.1	1.9	0.1
SCG	0.1	nd	15.0	nd	nd	0.1
<i>Eichornia crassipes</i>*						
PRESA	nd	1.2	63.5	13.1	63.5	11.1
LLCH	nd	0.4	65.8	14.8	65.0	7.8
LLTR	nd	0.1	53.5	19.1	66.0	14.1
TRANSICIÓN E. LLUVIOSA A SECA/1999						
SEDIMENTOS EXTRACCIÓN TOTAL						
PRESA	0.5	0.6	63.5	15.3	123.3	12.2
LLCH	1.6	0.8	72.5	17.0	73.8	13.5
LLTR	0.3	1.8	111.9	22.7	79.6	27.4
SCG	0.9	0.2	71.4	29.1	77.8	7.6
SEDIMENTOS EXTRACCIÓN BIOLÁBIL						
PRESA	0.1	0.2	19.8	0.2	5.6	0.1
LLCH	0.1	0.1	18.1	0.2	4.3	0.1
LLTR	0.1	0.1	24.5	0.4	5.0	0.1
SCG	0.1	0.1	15.6	0.4	4.6	0.1
<i>E. crassipes</i>*						
PRESA	nd	4.6	52.4	11.03	48.7	8.8
LLCH	nd	3.2	69.9	20.8	77.4	4.3
LLTR	nd	0.2	52.4	39.9	63.6	5.8
ESTACION SECA/2000						
SEDIMENTOS EXTRACCIÓN TOTAL						
PRESA	0.4	2.7	79.7	17.2	104.6	5.9
LLCH	1.3	0.4	58.5	18.1	61.0	11.4
LLTR	0.5	1.2	68.5	24.1	62.7	6.0
SCG	1.7	0.3	58.5	11.9	61.0	10.2
SEDIMENTOS EXTRACCIÓN BIOLÁBIL						
PRESA	0.1	0.2	25.8	0.4	5.5	0.1
LLCH	0.2	0.0	18.5	0.6	3.3	0.1
LLTR	0.1	0.3	18.5	0.6	3.8	0.1
SCG	0.1	0.1	22.9	0.5	4.0	0.1
<i>E. crassipes</i>**						
LLCH	nd	5.3	70.0	53.8	83.8	10.7
LLTR	nd	1.1	62.3	11.0	52.3	6.7

Tabla 1. Concentraciones promedio (mg.kg^{-1}) de los metales en estudio en las diferentes estaciones de muestreo del río Lempa: Presa 15 de septiembre (PRESA), La Lechuguera (LLCH), La Letrina (LLTR), SCG (Sincagüitera). * Ausente en SCG. **Ausente en PRESA y SCG. nd: no detectable según método utilizado.

La bioconcentración de metales por parte de las raíces de *E. crassipes* varía según los diferentes períodos de muestreo. Durante la estación lluviosa, la planta presentó alta capacidad para incorporar cadmio, cobre, cromo, níquel y plomo, dentro de los tejidos radiculares. En el período de transición a estación seca, las raíces reflejaron niveles significativos de los mismos metales. Durante la estación seca, se mantiene la tendencia antes descrita, por ello se asume que las raíces de esta fanerógama flotante son útiles como biomonitores de cadmio, cobre, cromo, níquel y plomo.

Si se considera que las colonias de *E. crassipes* son estáticas en los diferentes lugares de muestreo, existe un hecho interesante no contemplado en los objetivos de este estudio. Esto es que en el caso del cadmio, los niveles de metal son mayores en las muestras provenientes de la presa en comparación a las otras ubicadas río abajo, lo cual ocurrió durante los diferentes períodos de muestreo. En el caso de Cu, los niveles son estables aparentemente en las diferentes estaciones de muestreo. Los demás metales no presentan tendencia definida.

Con base a lo mencionado anteriormente, puede considerarse a *E. crassipes* como un buen monitor de cadmio, cobre, cromo, níquel y plomo, sin embargo esto deberá confirmarse con estudios de cinéticas de carga y descarga, y también debe considerarse la influencia de la liberación de agua del embalse que lleva jacintos aguas abajo.

Fauna acuática del Lempa como biomonitor

Un buen biomonitor debe ser muy común, su colecta debe ser fácil, debe adaptarse a diferentes gradientes ambientales (salinidad por ejemplo), debe reflejar los niveles de contaminantes, entre otras características.

Se ensayó tratando de capturar especies asociadas a los sedimentos y poca movilidad. Se intentó la captura de bagres, pez asociado a los fondos, sin embargo no logró capturarse ejemplar alguno. Posteriormente se intentó localizar gasterópodos, sin embargo su talla era demasiado pequeña (< 3 mm), lo cual no permitía obtener suficiente biomasa para el análisis químico. Se trató de localizar almejas (*Donax* sp?), pero su distribución está limitada a zonas de bajas salinidad y están ausentes en áreas dulceacuícolas.

La misma situación ocurrió con crustáceos talasinoideos (“mongueño”), los cuales son muy abundantes en los fangos, presentan alta biomasa, pero su distribución está limitada a agua salada. En conclusión, no se pudo obtener un biomonitor animal adecuado. Futuros intentos pueden realizarse al establecer un biomonitor para agua dulce y otro para zonas estuarinas.

4. APLICACIÓN DEL PROYECTO EN EL LARGO PLAZO

Estos resultados permitirán a las autoridades ambientales, de pesca y agrícolas, conocer, el nivel de ciertos contaminantes metálicos que pueden representar un riesgo ecológico en la zona costera del río Lempa. Sobre todo, poner especial atención al cobre, así como mayor control sobre el uso de productos agroquímicos que contengan este elemento. De igual manera la pesca de peces u organismos de fondo en el embalse puede merecer mayor control.

También se puede considerar que el nivel de contaminantes metálicos no es amenaza directa a las áreas protegidas ribereñas con el Lempa.

Si alguna vez ocurren labores de dragado en el embalse de la presa 15 de septiembre, las diferentes autoridades involucradas cuentan con este estudio para brindar una disposición final adecuada a los sedimentos extraídos. De igual manera regulaciones de pesca y sanitarias podrán ser tomadas, en caso ocurra un dragado.

El estudio propone una nueva metodología para determinación de contaminantes en un cuerpo de agua, diferente al método tradicional que consiste en analizar muestras de agua, que ofrece la desventaja de presentar niveles de contaminantes diluidos y fácilmente se alteran por descargas contaminantes eventuales. Es una herramienta científica nueva para los investigadores de El Salvador. También, es un complemento a los esfuerzos de FUSADES al determinar contaminantes en muestras de agua del río Lempa y afluentes.

Este estudio propone una planta como buen biomonitor, lo cual puede aplicarse a otros cuerpos de agua similares. Incluso, pueden realizarse estudios para considerar la adecuada utilización del jacinto de agua agente purificador de aguas residuales.

Este estudio presenta la base para continuar con un sistema de monitoreo permanente de metales y otros contaminantes en el río. Y amplificarlo a incluir fauna acuática como biomonitores de contaminantes. Se pueden incluir técnicas de transplante de algún tipo de fauna.

Este estudio obliga a realizar estudios más profundos de la hidrodinámica del río y su relación con la dispersión de contaminantes durante las diferentes estaciones del año. El estudio litológico se hace necesario para refinar las consideraciones de riesgo ecológico mencionadas en este documento. De igual manera determinar niveles de mercurio, zinc, selenio, talio, berilio, entre otros, así como otros contaminantes derivados de actividades humanas en sedimentos y biota del río Lempa.

Cabe destacar a los colaboradores internacionales, la necesidad de continuar con estos proyectos de apoyo a la investigación científica en Centroamérica. De igual manera presentar a las máximas autoridades políticas de los países, hechos convincentes de la importancia de apoyar con financiamiento la investigación científica en los países centroamericanos que, con la excepción de Costa Rica y Panamá, presentan serias carencias en este campo.

REFERENCIAS

Barraza, J.E., Carballeira, A. 1998. Una nota corta sobre los metales pesados de la bahía de La Unión, Golfo de Fonseca, El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador. Publicación Ocasional No. 1

Carballeira, A., Carral, E., Puente, X.M., Villares, R. 1997. Estado de conservación de la costa de Galicia: nutrientes y metales pesados en sedimentos y organismos intermareales. Universidade de Santiago de Compostela, Xunta de Galicia

Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social. 2000. Evaluación de la contaminación del río Lempa y sus afluentes.

Research Planning Inc. 1995. Diagnóstico Ambiental en el Medio Costero Marino de la Zona de Acajutla. San Salvador, El Salvador.

Serrano, F. (ed.). 1995. Historia Natural y Ecología de El Salvador. Tomo II. Ministerio de Educación.